

(51) Int.Cl.⁶G 0 2 B 6/22
6/18

識別記号

F I

G 0 2 B 6/22
6/18

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願平9-48273

(22) 出願日 平成9年(1997) 3月3日

(71) 出願人 000005186

株式会社フジクラ

東京都江東区木場1丁目5番1号

(72) 発明者 熊安 敏

千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社フジ
クラ佐倉工場内

(72) 発明者 愛川 和彦

千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社フジ
クラ佐倉工場内

(72) 発明者 姫野 邦治

千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社フジ
クラ佐倉工場内

(74) 代理人 弁理士 志賀 正武

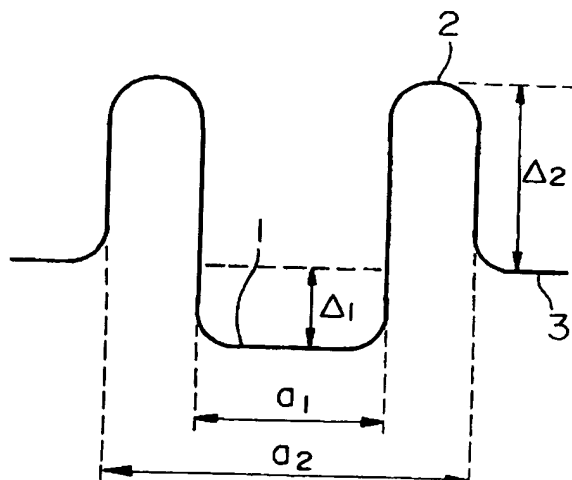
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 分散シフト光ファイバ

(57) 【要約】

【課題】 非線形効果を低減した分散シフトファイバを提供する。

【解決手段】 コアとクラッド3からなり、該コアの屈折率は、その外周部分2の屈折率よりも中心部分1の屈折率が低くなっており、前記クラッド3の屈折率は、前記コアの中心部分1の屈折率より高く、前記コアの外周部分2の屈折率より低くなっている分散シフト光ファイバにおいて、波長1.55 μ m帯において、実質的にシングルモード伝搬となり、かつ波長分散値がほぼゼロであり、かつ有効コア断面積が80~120 μ m²、好ましくは100~120 μ m²であり、かつ曲げ損失が10dB/m以下であることを特徴とする分散シフト光ファイバを構成する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 コアとクラッドからなり、該コアの屈折率は、その外周部分の屈折率よりも中心部分の屈折率が低くなっており、前記クラッドの屈折率は、前記コアの中心部分の屈折率より高く、前記コアの外周部分の屈折率より低くなっている分散シフト光ファイバにおいて、波長1.55 μ m帯において、実質的にシングルモード伝搬となり、かつ波長分散値がほぼゼロであり、かつ有効コア断面積が80～120 μ m²であり、かつ曲げ損失が10dB/m以下であることを特徴とする分散シフト光ファイバ。

【請求項2】 請求項1記載の分散シフト光ファイバにおいて、

コアの中心部分とクラッドとの比屈折率差が0.1～0.7%であり、

コアの外周部分とクラッドとの比屈折率差が0.9～2.0%であり、

コアの外径が、コアの中心部分の外径の1.2～2.0倍であることを特徴とする分散シフト光ファイバ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 この発明は、分散シフト光ファイバ（以下、DSFと略記する。）に関し、その非線形効果と曲げ損失を低減したものである。

【0002】

【従来の技術】 従来から知られているように、石英系光ファイバの低損失波長帯は1.4～1.7 μ m、望ましくは1.55 μ mである。DSFは、石英系光ファイバの損失が最小である前記波長帯で実質的にシングルモード伝搬となって、波長分散値がゼロもしくはほぼゼロである光ファイバであって、その具体的なものとしては、図10に示すような階段型の屈折率分布形状（以下プロファイルという。）を有するものが一般的である。

【0003】 図10において、符号11は中心コア部であり、この中心コア部11の外周にはこの中心コア部11の屈折率よりも低い屈折率を有する階段コア部12が設けられ、これら中心コア部11と階段コア部12とでコア13が構成され、コア13の外周には前記階段コア部12の屈折率よりも低い屈折率を有するクラッド14が設けられている。また、図10において、aは中心コア部11の直径を、bは階段コア部12の外径を示し、 $\Delta 11$ は中心コア部11とクラッド14との比屈折率差、 $\Delta 12$ は階段コア部12とクラッド14との比屈折率差を示している。

【0004】 この従来の階段型のプロファイルを有するDSFにおいては、通常入射する光のパワーが数mW以上となると自己位相変調、相互位相変調、4光子混合、誘導ラマン散乱、誘導ブリルアン散乱などの非線形効果が発生し、伝送特性が劣化することが知られている。一方、近年、高出力光ブースターアンプなどを用いて高パ

ワー密度の光を発生させ、この高パワー密度の光を光ファイバによって伝送することによって、無中継伝送の長スパン化を図ることが検討されている。しかしながら、従来の階段型のプロファイルを有するDSFにおいては、非線形効果の発生によって高パワー密度の光を有効に伝送することができず、光信号の伝送距離をのばすことができないという問題がある。

【0005】 一方、非線形効果の大きさは、 n_2/A_{eff}

で表される。ここで n_2 は光ファイバの非線形屈折率、 A_{eff} は光ファイバの有効コア断面積である。非線形効果を低減するためには、 n_2 は材料に固有の値であるため、 A_{eff} を大きくすることが必要となる。

【0006】 また、 A_{eff} の値だけを無制限に大きくすることができればよいということではない。というのは、広帯域の光ファイバとして用いるためには、使用波長帯において、曲げ損失が小さく、低分散である（波長分散値の絶対値が小さい）という条件を満足し、さらにDSFはシングルモード光ファイバであるので、カットオフ波長が使用波長帯においてシングルモード伝搬となる値をとるという条件を満足しなくてはならない。階段型のプロファイルを有するDSFの場合、これらの条件を満足するために、 A_{eff} は通常50 μ m²程度になっており、これを70 μ m²以上に拡大することが難しく、非線形効果を低減したものとすることができない。

【0007】 ところで、非線形効果である、自己位相変調、相互位相変調、4光子混合、誘導ブリルアン散乱、誘導ラマン散乱は、それぞれ以下のような関係式によって記述される。自己位相変調、相互位相変調の位相シフトは、以下の式Iで表される。

【0008】

【数1】

$$\phi = \frac{\omega_0 \cdot L_{eff}}{c} \cdot \frac{n_2}{A_{eff}} \cdot (P_0 + 2 \cdot P_{co}) \quad \dots (式I)$$

ω_0 : 搬送波の角周波数

c : 電磁波の速度

L_{eff} : 有効長

A_{eff} : 有効コア断面積

n_2 : 非線形屈折率

P_0 : 搬送波の強度

P_{co} : 共搬送(copropagating)波の強度

【0009】 この式Iの括弧を展開した式の第1項は自己位相変調を示し、第2項は相互位相変調を示す。前記式Iで表される位相変調によって、入射光パルスは周波数変調をうける。この周波数変調と群速度分散の相互作用の結果、搬送波形が変形するため、伝送特性は一般に劣化する。

【0010】 4光子混合によって発生するパルス光のパ

ワ-密度は下記の式ⅠⅠで与えられる。

*【数2】

【0011】

*

$$P_{ijk}(L) = \eta \cdot \frac{256\pi^4 \omega^2}{n^4 c^2} \cdot L_{eff}^2 \cdot \exp(-\alpha L) \cdot P_i P_j P_k \cdot \frac{(Dx_{III})^2}{A_{eff}^2} \quad \dots (式II)$$

η : 4光子混合の発生効率

ω : 搬送波の角周波数

n : 導波路の屈折率

c : 電磁波の速度

L_{eff} : 有効長

α : 伝送損失

L : ファイバ長

$P_i P_j P_k$: 各搬送波の光の強度

Dx_{III} : n_2 (非線形屈折率) に比例する量

A_{eff} : 有効コア断面積

【0012】波長の異なる複数のパルス光を伝搬する波長多重伝送 (WDM伝送) の場合、波長の異なるパルス光間の相互作用により、別の第3の波長をもつパルス光が発生する。このパルス光間の相互作用によって発生したパルス光はノイズとなり、光ファイバの伝送特性を著しく劣化させることが知られている。

※【0013】誘導ラマン散乱は、入射光のパワー密度がある値 (しきい値と呼ぶ) を越えると飛躍的に発生する。このしきい値は以下の式ⅠⅠⅠで表される。

20 【0014】

【数3】

$$P_{cr} = \frac{16A_{eff}}{9RL_{eff}} \quad \dots (式III)$$

A_{eff} : 有効コア断面積

L_{eff} : 有効長

$9R$: 誘導ラマン散乱により発生する散乱光の増幅利得係数

【0015】このしきい値が大きいほど誘導ラマン散乱がおこりにくく、式ⅠⅠⅠより、 A_{eff} ができるだけ大きい方が望ましいことがわかる。前記式ⅠⅠⅠ中の g_R は誘導ラマン散乱により発生する散乱光の増幅利得定数であり、この散乱光の増幅率は $g_R \cdot I_s \cdot I_p$ で表されるものである (I_s は散乱光のパワー密度、 I_p は入射光のパワー密度を表している)。誘導ラマン散乱により発生する散乱光は主に入射光と同じ方向に伝搬するが、波長が異なっているものである。誘導ラマン散乱の発生★

★によって入射光が散乱光となり、入射光のパワー密度が急激に低下するため、光ファイバの伝送特性が著しく劣化する。

【0016】誘導ブリルアン散乱も、上述の誘導ラマン散乱と同様に、入力光のパワー密度がある値 (しきい値と呼ぶ) を越えると飛躍的に発生する。このしきい値は以下の式ⅠⅠⅠⅠで表される。

【0017】

【数4】

$$P_{cr} = \frac{21A_{eff}}{9BL_{eff}} \quad \dots (式IV)$$

A_{eff} : 有効コア断面積

L_{eff} : 有効長

$9B$: 誘導ブリルアン散乱により発生する散乱光の増幅利得係数

【0018】このしきい値が大きいほど誘導ブリルアン散乱がおこりにくく、式ⅠⅠⅠⅠより、 A_{eff} ができるだけ大きい方が望ましいことがわかる。前記式ⅠⅠⅠⅠ中の g_B は誘導ブリルアン散乱により発生する散乱光の増幅利得定数であり、この散乱光の増幅率は $g_B \cdot I_s \cdot I_p$ で表されるものである (I_s は散乱光のパワー密度、 I_p は

入射光のパワー密度を表している)。誘導ブリルアン散乱によって発生する散乱光は入射光と逆方向に伝搬し、入射光とその波長がほぼ同じものである。誘導ブリルアン散乱の発生によって入射光のエネルギーが散乱光に移り、入射光のパワー密度が急激に低下するため、光ファイバの伝送特性が著しく劣化する。

【0019】上述の階段型のプロファイルを有するDSFに対して、Nouchi¹⁾らは、図1に示したような凹型の屈折率分布を有するリングプロファイルを提案している(*1P. Nouchi et al., ECOC' 96, MoB. 3. 2, 1996)。

このリングプロファイルは屈折率の異なる中心部分と外周部分とからなるコアと、このコアを囲むクラッドからなり、図中符号1はコアの中心部分、2はコアの外周部分、3はクラッドである。前記コアは、外周部分2の屈折率よりも中心部分1の屈折率が低くなっており、前記クラッド3の屈折率は、前記コアの中心部分1の屈折率より高く、かつ前記コアの外周部分2の屈折率より低くなっている。

【0020】このようなコアの中心部分の屈折率が落ち込んだリングプロファイル構成となっているものは、Aeffを大きくすることが可能であることが報告されている。これは、電界分布E(r) (半径rでの電界強度)の形が図10に示した階段型のプロファイルを有するものとは異なるためである。また、本発明者らは、曲げ損失を小さくおさえることと、接続損失を小さくするためにモードフィールド径を大きくすることができるものとして、実質的にリングプロファイルを有するDSFを特開昭62-297808号公報に提案している。

【0021】これらのリングプロファイルに関する報告においては、従来の階段状のプロファイルを有するものと比較して、ある程度DSFのAeffを大きくすることができ、非線形効果の低減が期待できる。しかしながら、未だ、特に上述のように高パワー密度の光を伝送する必要がある用途における要求を十分に満足するものではなく、さらなる改善が求められている。

【0022】

【発明が解決しようとする課題】よって、本発明における課題は、Aeffを大きくすることによって、非線形効果を低減したDSFを提供することにある。また、非線形効果を低減でき、かつ使用波長帯において、曲げ損失が低く、低分散で、かつカットオフ波長が使用波長帯において常にシングルモード伝搬となる値をとるという条件を満足するDSFを提供することにある。

【0023】

【課題を解決するための手段】前記課題を解決するために、本発明においては、コアとクラッドからなり、該コアの屈折率は、その外周部分の屈折率よりも中心部分の屈折率が低くなっており、前記クラッドの屈折率は、前記コアの中心部分の屈折率より高く、前記コアの外周部分の屈折率より低くなっている分散シフト光ファイバ

(DSF)において、波長1.55μm帯において、実質的にシングルモード伝搬となり、かつ波長分散値がほぼゼロであり、かつ有効コア断面積が80~120μm²、好ましくは100μm²以上(すなわち100~120μm²)であり、かつ曲げ損失が10dB/m以下であることを特徴とする分散シフト光ファイバを提案す

る。また、この分散シフト光ファイバにおいて、コアの中心部分とクラッドとの比屈折率差が0.1~0.7%であり、コアの外周部分とクラッドとの比屈折率差が0.9~2.0%であり、コアの外径が、コアの中心部分の外径の1.2~2.0倍であるDSFを構成することができる。これらの構造パラメータは、それぞれの数値範囲から上述のDSFの特性を満足するように選択され、組み合わせられて設定される。また、これらの分散シフト光ファイバにおいて、分散スロープの絶対値が0.1ps/nm²/km以下であると好ましい。

【0024】

【発明の実施の形態】本願発明は図1に示したリングプロファイルを有するDSFの設計条件を検討したものである。以下、図1を利用して説明する。このリングプロファイルは中心部分と外周部分からなるコアと、このコアを囲むクラッドからなり、図中符号1はコアの中心部分、2はコアの外周部分、3はクラッドである。前記コアは、外周部分2の屈折率よりも中心部分1の屈折率が低くなっており、前記クラッド3の屈折率は、前記コアの中心部分1の屈折率より高く、かつ前記コアの外周部分2の屈折率より低くなっている。

【0025】そして、Δ1はコアの中心部分1とクラッド3との比屈折率差、Δ2はコアの外周部分2とクラッド3との比屈折率差、a1はコアの中心部分1の外径、a2はコアの外径を示している。

【0026】このDSFは、Δ1、Δ2、a2、a1という4つの構造パラメータの値が適切に組み合わせて設計されているもので、このことにより、使用波長1.55μm帯において波長分散値がほぼゼロであり、かつ有効コア断面積が好ましくは100μm²以上、実質的には80~120μm²であり、かつ曲げ損失が10dB/m以下であり、かつカットオフ波長がこの使用波長帯において常にシングルモード伝搬となる値をもつという特性を備えたものである。

【0027】使用波長1.55μm帯とは、波長1520nm~1580nmの波長域をさすものである。使用波長1.55μm帯で実質的にシングルモード伝搬となるとは、具体例については後述するが、実際に使用する長尺のDSFでシングルモード伝搬となっていることであって、必ずしもJISまたはCITTの2m法で規定されているカットオフ波長(以下λ_cと記す)がこの使用波長帯以下である必要はない。また、波長分散値がほぼゼロとは、この使用波長帯において波長分散値が-5~+5ps/nm/kmとなっていることをいう。この波長分散値は、その絶対値が0.3ps/nm/km以上であるとさらに望ましい。これは、この絶対値が0.3ps/nm/km未満であると、非線形効果のひとつである4光子混合が発生しやすくなることがあるからである。

【0028】曲げ損失は波長1.55μmで曲げ径20

mmの条件の値をいうものとする。

【0029】そして、設定方法の詳細は後述するが、 $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 、 $a 2$ 、 $a 1$ の4つの構造パラメータは、上述のDSFの特性を満足するように、下記に示す各々の数値範囲から選択された組み合わせからなるものである。

$\Delta 1$: 0.1~0.7%

$\Delta 2$: 0.9~2.0%

$a 2/a 1$: 1.2~2.0

【0030】以下詳細に検討の経緯を説明する。目的とするDSFを設計するには、使用波長1.55 μ m帯における以下の値の条件を設定することが必要となる。

A 曲げ損失の最大値

B λc の最大値

C 波長分散値の範囲

D Aeffの目標値(最低値)

Aは曲げ損失が小さいという特性を満足するための条件である。また、Bにおいて λc をある値以下とすることによって実質的にシングルモード伝搬可能なものとすることができる。また、Cは低分散であるという条件を満足するための条件であり、Dは非線形効果を低減するための条件である。

【0031】つぎに、前記A~Dに対応する具体的な数値を以下のように設定する。

【0032】A' 曲げ損失が10dB/m以下

B' λc が1.7 μ m以下

C' 波長分散値がほぼゼロ

D' Aeffが80 μ m²以上、好ましくは100 μ m²以上

A'において、曲げ損失が10dB/mをこえるとDSFのわずかな湾曲によって損失が増加するため好ましくない。B'において、 λc は通常JISあるいはCITTの2m法(以下2m法と記す)による値によって規定されているが、この λc の値を1.7 μ m以下とすることによって、実際には2mよりも大幅に長い状態、例えば全長5000m以上で使用されている光ファイバでは、使用波長1.55 μ m帯において実質的にシングルモード伝搬が可能となる。本発明に基づいて作製したDSFでは、例えば、2m法による λc の値と、実際の使用状態に近い長尺での λc の値は以下のようになっている。

例1 1.67(2m法の測定値)→1.53(5000mの試料の測定値)

例2 1.20(2m法の測定値)→1.10(5000mの試料の測定値)

例3 1.34(2m法の測定値)→1.22(5000mの試料の測定値)

*

*例4 1.49(2m法の測定値)→1.35(5000mの試料の測定値)

C'では波長分散値がほぼゼロであることによって、パルスの広がりが生じにくい低分散のDSFとすることができる。D'において、Aeffが80 μ m²以上であることは、上述のように従来の階段型のプロファイルを有するものでは実現しにくいものであり、階段型のプロファイルを有するDSFでは得られなかった非線形効果の低減効果が得られる。また、好ましくはAeffが100 μ m²以上であると、さらに高い要求にも対応できるようになる。

【0033】ついで、A'~D'の条件を満足する $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 、 $a 2$ 、 $a 1$ の構造パラメータについて検討する。これらの構造パラメータについて検討するにおいて、便宜上、波長1.55 μ mにおける波長分散値が0ps/nm/kmとなるこれら構造パラメータの解について、Aeff、曲げ損失、 λc の条件を満足する範囲に属するものがあるかどうか検討したものが、図2~6に示されたグラフ1-1~1-5である。これらのグラフは $\Delta 2/\Delta 1$ の値が一定の場合に、 $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 、 $a 2/a 1$ の値を変化させた際のAeff(横軸)と曲げ損失(縦軸)の関係を示し、さらに λc の範囲を示したものである。

【0034】それぞれのグラフの $\Delta 2/\Delta 1$ の値は以下のように対応している。

グラフ1-1: $\Delta 1=0$ (コアの中心部分1がクラッド3と同じ屈折率の場合)

グラフ1-2: $\Delta 2/\Delta 1=4$

グラフ1-3: $\Delta 2/\Delta 1=3$

グラフ1-4: $\Delta 2/\Delta 1=2$

グラフ1-5: $\Delta 2/\Delta 1=1$

Aeffは以下の式Vを用いて求められる。

【0035】

【数5】

$$A_{\text{eff}} = \frac{2\pi \left\{ \int_0^\infty r |E(r)|^2 dr \right\}^2}{\int_0^\infty r |E(r)|^4 dr} \quad \dots (式V)$$

r: 半径

E(r): 半径rでの電界強度

【0036】また、曲げ損失は以下の式VIを用いて求められる。

【0037】

【数6】

$$a_F = \frac{\sqrt{\pi}}{2s_\nu} \cdot \frac{Ae^2}{P_T} \cdot \frac{1}{a} \cdot \frac{\exp\left(-\frac{4w^3}{3\nu^2} \cdot \frac{R\Delta}{a}\right)}{w\left(\frac{wR}{a} + \frac{\nu^2}{2\Delta w}\right)^2} \quad \dots (式VI)$$

s_ν : 方位角モード次数に依存した量

Ae : クラッド中の電磁界の振幅

P_T : 伝播光パワーに対応した量

R : 曲げ半径

a : コア半径

Δ : 比屈折率差

ν : 規格化周波数

w : クラッドの横方向規格化伝播定数

【0038】これらの解を示す点は a_2/a_1 の値ごとにまとめられ、曲線で結ばれている（以下この曲線を a_2/a_1 曲線とよぶ。）。各グラフの横には、曲線ごとに対応する a_2/a_1 の値が示されている。 Δ_2 の値は、 a_2/a_1 曲線上に具体的な数値が示されているか、 a_2/a_1 曲線と交わる破線に具体的な数値が示されている。 Δ_1 の値は Δ_2/Δ_1 が一定であるので、 Δ_2 の値から自ずと導かれる。ここで、 Δ_2 の値は原則として2つ以上の解が得られ、 a_2/a_1 曲線を移動するにおいて Δ_2 の値は減少したり増加したりする。このため、 Δ_2 の値のおおよその増加方向を示す破線矢印が a_2/a_1 曲線に沿うように目安として記されている。

【0039】また、 $\lambda_c:1.55\mu m$ 、 $\lambda_c:1.7\mu m$ を表す等高線が、 a_2/a_1 曲線に交わる実線で示されている。

$\lambda_c:1.7\mu m$ の等高線を含め、この等高線より図中左側に位置する部分は λ_c の条件を満足する λ_c が $1.7\mu m$ 以下の範囲である。

【0040】これらのグラフにおいて、1本の a_2/a_1 曲線上を移動することは、 a_2/a_1 と Δ_2/Δ_1 の値を一定とし、 Δ_2 と Δ_1 の値を変化させたときの波長分散値がゼロである解におけるDSFの曲げ損失と $Aeff$ の値をみていくことになる。ここで、上述の A' 、 B' 、 D' で示された条件を満足するのは、グラフ上斜線部で示されている範囲となり、コアの中心部分1の屈折率がクラッド3よりも小さいグラフ1-2~1-5においてこの範囲が存在することがわかる。

【0041】このように、グラフの斜線部に属するものは、使用波長 $1.55\mu m$ 帯において波長分散値がほぼゼロであり、かつ曲げ損失が $10dB/m$ 以下であり、かつカットオフ波長が $1.7\mu m$ 以下であり、かつ有効コア断面積が好ましくは $100\mu m^2$ 以上、実質的には $80\sim120\mu m^2$ （すなわち好ましくは $100\sim120\mu m^2$ ）の範囲のものである。

【0042】すなわち、グラフの斜線部に属するものは、低曲げ損失、低分散性、シングルモード伝搬可能と

いう条件を満足し、かつ $Aeff$ を $80\mu m^2$ 以上、好ましくは $100\mu m^2$ 以上とすることができ、非線形効果を低減することが可能となる。この条件を満足する斜線部の各々の構造パラメータの数値範囲を表すと以下のようなになる。

Δ_1 : $0.1\sim0.7\%$

Δ_2 : $0.9\sim2.0\%$

a_2/a_1 : $1.2\sim2.0$ 倍

【0043】なお、 Δ_2 の値が大きいと、ドーパントの増加によるレイリー散乱や歪みによって伝送損失が大きくなりやすくなるため、この値が 2.0% 以下であることは好ましい。実際には、ひとつのDSFにおける Δ_1 、 Δ_2 、 a_2/a_1 の値を、グラフに示された斜線部に属するように上述の各数値範囲から選択し、組み合わせて設定することによって目的とする特性を有するDSFが得られることになる。このような観点から、本発明では、DSFの3つの構造パラメータの数値範囲を特定しても、その範囲から選ばれる任意の値の組み合わせによって目的とするDSFが得られるわけではない。したがって、これら構造パラメータの数値範囲から本発明を特定することは困難であり、図1に示したリングプロファイルを有するものにおいて、その特性値によって本発明を特定するようにしたものである。このような特性は、従来提案されている階段型のプロファイルを有するDSFでは取り得ないものであることはいうまでもないことである。

【0044】また、表1にグラフにおいて斜線で示されている範囲付近における具体的な解の一部と、これに対応する $Aeff$ と曲げ損失の値のを示す。一部曲げ損失が $10dB/m$ を越えており、本発明の範囲に属さないものも参考として示されている。表1には、これらの解に対応してPetermannの定義式から求めたモードフィールド径(MDF)と、 $1.55\mu m$ 近傍で波長分散値を波長で微分して求めた波長に対する波長分散値の傾き（波長分散スロープとよぶ。）とが示されている。波長分散スロープは、いずれも $-0.08\sim-0.10ps$

$/\text{nm}^2/\text{km}$ 程度とその絶対値が小さくなっている。

【0045】波長分散スロープの絶対値が小さいと、波長の異なる複数のパルス光を伝搬する波長多重伝送(WDM伝送)などにDSFを用いる場合に、これら複数のパルス光における波長分散値の値の差が小さく、ほぼ同じ値をとることになるので、複数のパルス光における分散状態のばらつきが少なくなり好ましい。一般にこのよ*

| a_2/a_1 | Δ_1 | Δ_2 | λ_c | MDF | A_{eff} | 曲げ損失 | 波長に対する分散スロープ |
|-----------|------------|------------|-------------|------|------------------|-------|--------------|
| 1.30 | -0.2 | 1.40 | 1.58 | 8.28 | 101.0 | 10.62 | -0.0974 |
| 1.32 | -0.2 | 1.30 | 1.64 | 8.23 | 105.7 | 6.62 | -0.0969 |
| 1.34 | -0.2 | 1.30 | 1.64 | 8.12 | 99.9 | 3.88 | -0.0963 |
| 1.42 | -0.3 | 1.10 | 1.65 | 8.22 | 107.3 | 9.09 | -0.0930 |
| 1.42 | -0.3 | 1.15 | 1.59 | 8.20 | 100.3 | 9.48 | -0.0935 |
| 1.44 | -0.3 | 1.15 | 1.60 | 8.10 | 96.3 | 5.24 | -0.0930 |
| 1.54 | -0.45 | 0.95 | 1.65 | 8.22 | 110.4 | 14.67 | -0.0885 |
| 1.56 | -0.45 | 0.97 | 1.63 | 8.15 | 104.0 | 9.91 | -0.0887 |
| 1.56 | -0.45 | 1.00 | 1.57 | 8.19 | 98.9 | 13.05 | -0.0895 |
| 1.58 | -0.45 | 1.00 | 1.59 | 8.08 | 96.5 | 7.11 | -0.0890 |

【0047】ところで、実際にDSFを設計する手順としては、 Δ_1 の値をその数値範囲である0.1~0.7%から選択して固定し、これに対応する Δ_2 と a_2/a_1 の値を設定していく方が容易であるので、このようにして設計条件を設定する場合の検討について以下に説明する。図7~9に示したグラフ2-1~2-3は、以下のようにそれぞれ Δ_1 の値を固定し、 Δ_2 、 a_2/a_1 の値を変化させた際の曲げ損失、 A_{eff} 、 λ_c の関係を示したものである。

グラフ2-1 : $\Delta_1 = 0.2\%$

グラフ2-2 : $\Delta_1 = 0.3\%$

グラフ2-3 : $\Delta_1 = 0.45\%$

【0048】これらのグラフ上の点は、波長1.55 μm における波長分散値が0ps/nm/kmとなる構造パラメータの解が、 A_{eff} (横軸)と曲げ損失(縦軸)の関係としてプロットされている。これらの解を示す点は a_2/a_1 の値ごとにまとめられ、曲線(以下 a_2/a_1 曲線と記す)で示されている。各グラフの横には、対応する曲線ごとに a_2/a_1 の値が示されている。1本の a_2/a_1 曲線上を移動することは、 a_2/a_1 と Δ_1 の値を一定とし、 Δ_2 の値を変化させたときの曲げ損失と A_{eff} の値をみていくことになる。 Δ_2 の値は a_2/a_1 曲線上の点に対応して、具体的な数値が示されているか、 a_2/a_1 曲線に交わる破線に具体的な数値が示されている。

【0049】ここで、 Δ_2 の値は原則として2つ以上の解が得られ、1本の線上を移動するにおいて Δ_2 の値は減少したり増加したりする。このため、これらのグラフに表されている範囲で、 Δ_2 の値が増加したり減少した※50

*うな用途に用いるには波長分散スロープの絶対値が0.1ps/nm²/km以下であると望ましいとされており、本発明のDSFにおいてはこの基準をクリアしている。

【0046】

【表1】

※りする部分がどちらも存在する場合には、 Δ_2 の値のおおまかな増加方向が目安として a_2/a_1 曲線に沿うよう破線矢印で示されている。また、図2~6に示したグラフ1-1~1-5と同様に、 $\lambda_c : 1.55\mu\text{m}$ 、 $\lambda_c : 1.7\mu\text{m}$ をそれぞれ表す等高線が、 a_2/a_1 曲線に交わる曲線として示されている。

【0050】上述のA'、B'、D'を満足する範囲は、グラフ上斜線部で示されている範囲となり、いずれのグラフにおいてもこの範囲が存在することがわかる。このようにしてグラフ上の斜線部で表される範囲に属するように Δ_1 、 Δ_2 、 a_2/a_1 の値を設定すると、上述のA'~D'の条件を満足するDSFを設計することができる。斜線部に属する Δ_2 と a_2/a_1 の値の範囲を各グラフ毎、すなわち、 Δ_1 の値ごとに数値として表すと表2ようになる。実際には Δ_1 の値に対応する Δ_2 、 a_2/a_1 の値は、グラフに示された斜線部に各構造パラメータが属するように、表2に示した Δ_2 、 a_2/a_1 の各数値範囲から選択して設定することになる。

【0051】

【表2】

| Δ_1 | Δ_2 | a_2/a_1 |
|------------|-------------------|-----------------|
| 0.2% | $1.30 \pm 0.08\%$ | 1.34 ± 0.03 |
| 0.3% | $1.11 \pm 0.04\%$ | 1.44 ± 0.02 |
| 0.45% | $0.97 \pm 0.02\%$ | 1.57 ± 0.02 |

【0052】本発明のDSFは、通常のVAD法などによって製造できる。このとき、コアの外周部分2には、GeO₂をドープしたゲルマニウムドープシリカを用い、コアの中心部分1およびクラッド3は純粋シリカ、好ましくはフッ素をドープしたフッ素ドープシリカを用いることによって作成される。

【0053】

【発明の効果】以上説明したように、本発明のDSFは、コアとクラッドからなり、該コアの屈折率は、その外周部分の屈折率よりも中心部分の屈折率が低くなっており、前記クラッドの屈折率は、前記コアの中心部分の屈折率より高く、前記コアの外周部分の屈折率より低くなっている分散シフト光ファイバにおいて、波長1.55 μm 帯において、実質的にシングルモード伝搬となり、かつ波長分散値がほぼゼロであり、かつ有効コア断面積が好ましくは100 μm^2 以上、実質的には80～120 μm^2 （すなわち好ましくは100～120 μm^2 ）であり、かつ曲げ損失が10 dB/m以下であることを特徴とするものである。すなわち、低分散、低曲げ損失、シングルモード伝搬可能というDSFに必要な条件を満足し、かつAeffを大きいものとすることができ、非線形効果が発生しにくいものである。したがって、入射する光パワーが比較的高密度であっても、非線*

* 形効果が発生しにいで、高出力光ブースターアンプなどによって得られた高パワー密度の光を有効に伝送することができ、光信号の伝送距離をのばすことができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 DS Fのリングプロファイルの例を示す図である。

【図2】 図1に示したリングプロファイルを有するDSFにおいて、 $\Delta 1$ を0とし、 $\Delta 2$ と $a2/a1$ の値を変化させた際に、波長 $1.55\mu\text{m}$ における波長分散値が 0ps/nm/km となる解を、 A_{eff} を横軸、曲げ損失を縦軸としてプロットして $a2/a1$ の値ごとにまとめ、さらにグラフ上に λ_c の等高線を示したグラフである。

【図3】 $\Delta 2/\Delta 1$ の値を4に固定した以外は図2と同様にしたグラフである。

【図4】 $\Delta 2 / \Delta 1$ の値を3に固定とした以外は、図2と同様にした結果のグラフである。

【図5】 $\Delta 2/\Delta 1$ の値を 2 に固定した以外は、図 2 と同様にしたグラフである。

20 【図6】 $\Delta 2/\Delta 1$ の値を1に固定した以外は、図2と同様に示したグラフである。

【図7】 $\Delta 1$ を0.2%に固定して、 $\Delta 2$ と a_2/a_1 の値を変化させた以外は図2と同様にしたグラフである。

【図8】 $\Delta 1$ を0.3%に固定した以外は、図7と同様にしたグラフである。

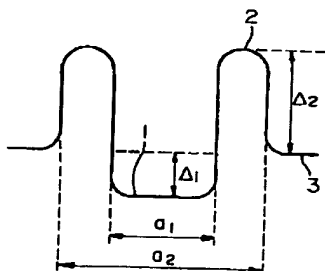
【図9】 $\Delta 1$ を0.45%に固定した以外は、図7と同様にしたグラフである。

【図 10】 従来のDSFにおける階段型のプロファイルを示す図である。

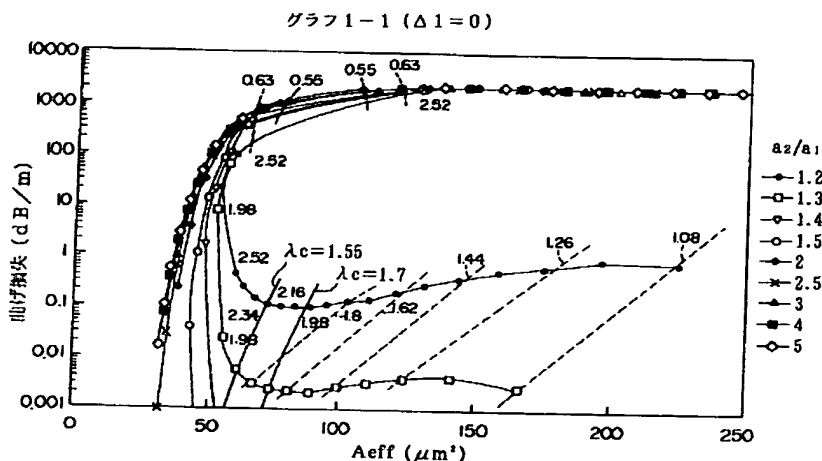
【符号の説明】

1…(コアの) 中心部分、2…(コアの) 外周部分、3…クラッド

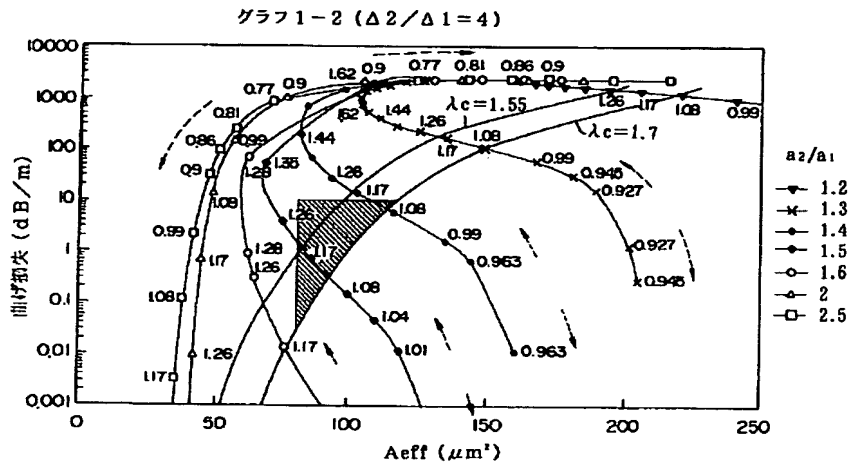
【図 1】



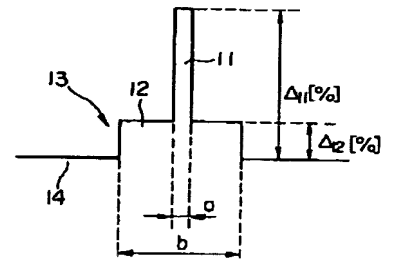
【図2】



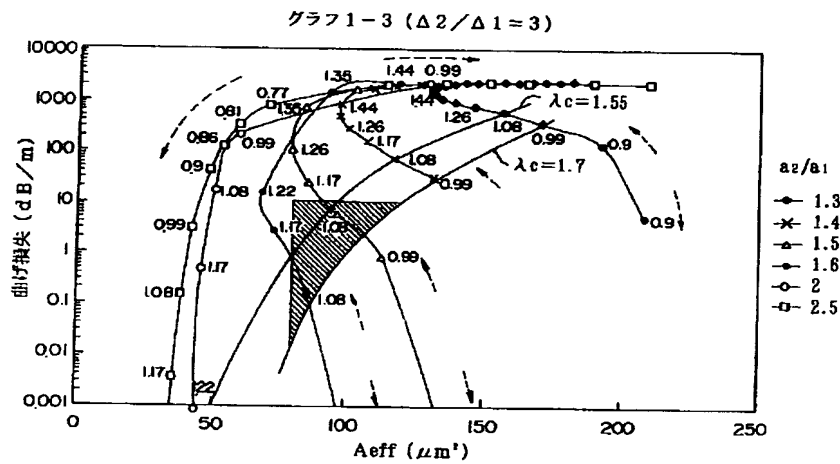
【図3】



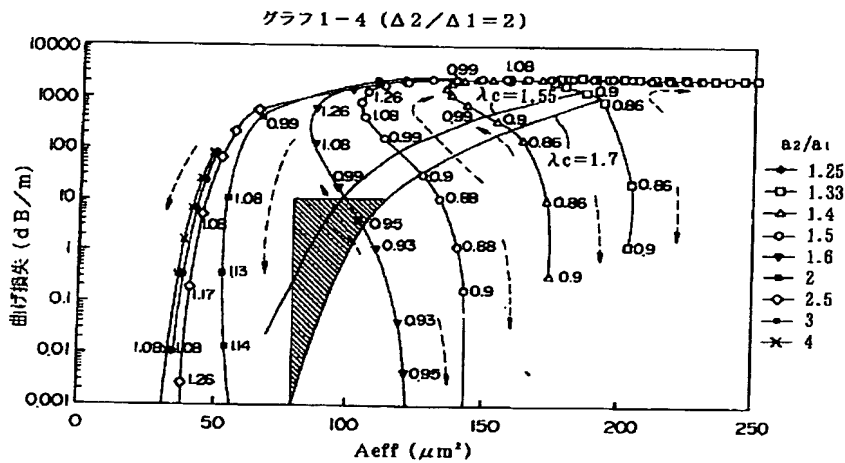
【図10】



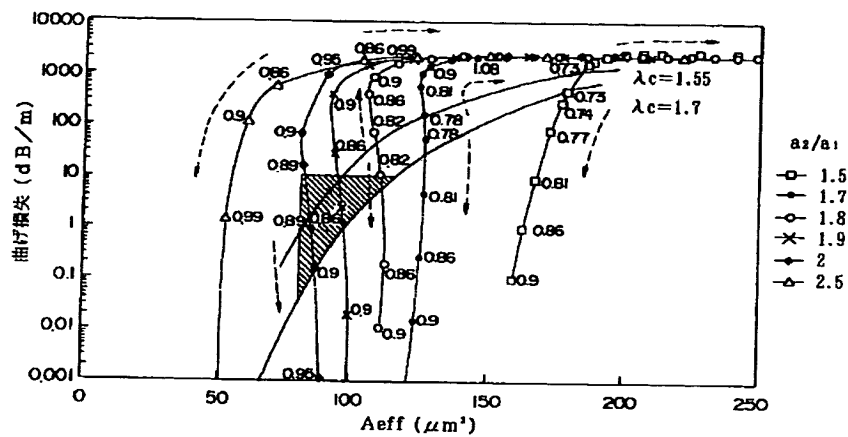
【図4】



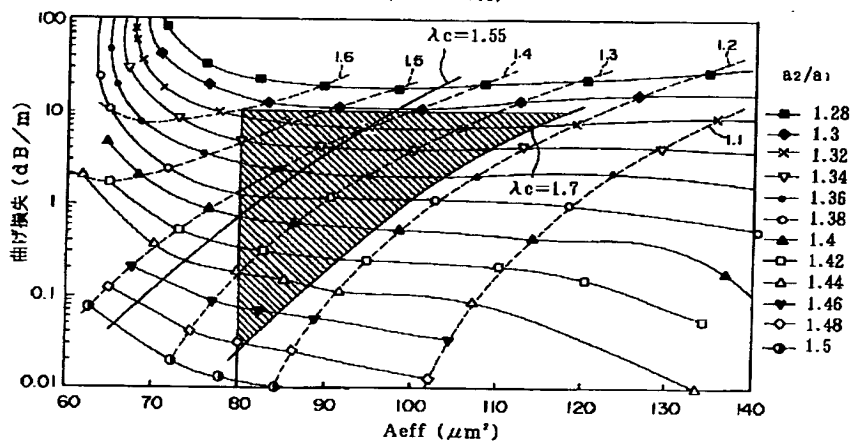
【図5】



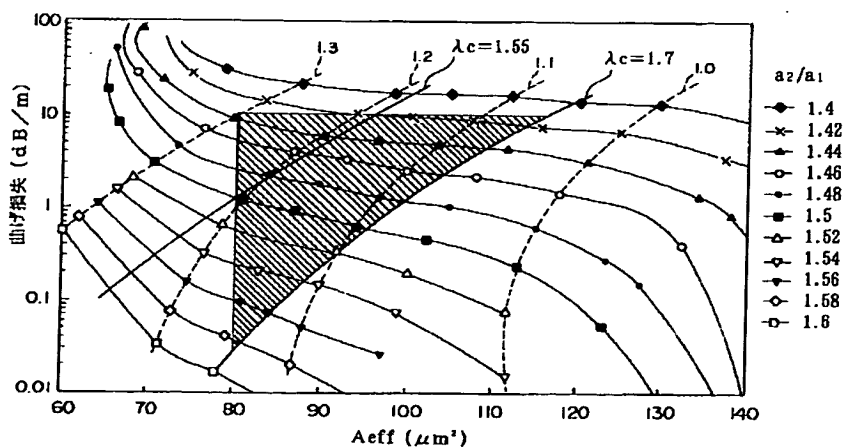
【図6】

グラフ1-5 ($\Delta 2/\Delta 1=1$)

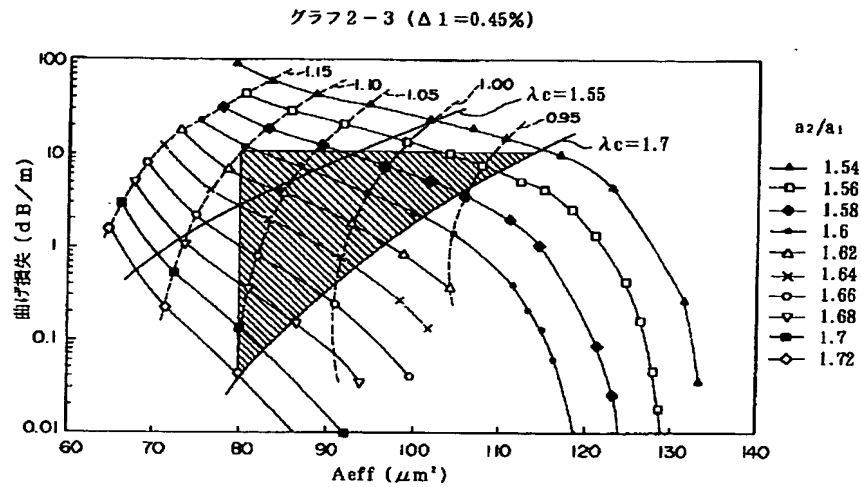
【図7】

グラフ2-1 ($\Delta 1=0.2\%$)

【図8】

グラフ2-2 ($\Delta 1=0.3\%$)

【図9】



フロントページの続き

(72)発明者 和田 朗
千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社フジ
クラ佐倉工場内

(72)発明者 畔蒜 富夫
千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社フジ
クラ佐倉工場内

(72)発明者 山内 良三
千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社フジ
クラ佐倉工場内